

BIM技术在轨道交通工程设计中的应用

张严栋

上海市隧道工程轨道交通设计研究院 上海 200235

摘要：BIM技术应用于轨道交通工程设计，具备参数化建模、三维可视化等核心特性与功能，依托软件、标准规范等支撑体系，适配轨道交通复杂、全周期等特征。其核心应用场景涵盖线路规划、土建、机电等多专业设计及多专业协同、与施工运维衔接等方面。通过技术、应用模式、管理与保障体系优化，可提升设计效率与质量，推动轨道交通工程高质量发展。

关键词：BIM技术；轨道交通工程设计；技术基础；应用场景；优化路径

引言：轨道交通工程是城市交通网络的重要组成部分，其设计涉及土建、机电、通信等多专业交叉，面临线路长、接口复杂、全周期衔接难等挑战。传统二维设计模式存在信息传递滞后、专业冲突频发、可视化不足等问题，难以满足现代轨道交通设计的精细化需求。BIM技术凭借参数化建模、多专业协同、全信息集成等特性，为破解这些难题提供了有效手段。在此背景下，系统研究BIM技术在轨道交通工程设计中的应用基础、场景与优化方向，对推动轨道交通设计数字化转型具有重要意义。

1 BIM 技术应用于轨道交通工程设计的技术基础

1.1 BIM技术核心特性与功能

参数化建模功能为车站结构构件、轨道构件、机电设备建立参数化模型，模型与参数深度关联，修改参数即可自动更新模型，无需重复绘制，既能提升设计效率，又能保障各专业模型信息的一致性^[1]。三维可视化功能将二维设计图纸转化为三维模型，清晰呈现工程整体布局、构件细节及空间关系，方便设计人员与相关方直观把握方案，助力设计评审与优化。信息集成功能在模型中嵌入构件的几何尺寸、安装位置等几何信息，材质、性能参数、供应商等属性信息，以及设计进度、施工周期等工期信息，形成完整的工程信息数据库。多专业协同功能支持土建、机电、通信等专业在同一模型平台开展设计，信息实时共享、同步更新，打破专业间信息壁垒。模拟分析功能依托模型开展车站通风、隧道结构受力等性能模拟，盾构施工流程等施工模拟，设备维护周期等运维模拟，为设计优化提供支撑。

1.2 BIM技术应用的支撑体系

软件平台体系由多种软件协同构成，建模软件用于构建各专业三维模型，协同管理平台支撑多专业在线同步设计与成果管理，模拟分析软件开展结构、流体等专

业分析，数据管理软件实现模型整合与碰撞检测，各类软件分工协作，满足设计各环节需求。标准规范体系明确设计各环节的统一要求，建模标准规范构件命名规则与建模精度，信息分类标准规范构件属性编码，协同工作标准规范专业间数据交互流程，通过标准化管理确保不同设计人员、不同专业的模型与信息具备一致性和兼容性。硬件与网络支撑为技术应用提供基础保障，高性能计算机满足复杂模型运算需求，图形工作站保障三维模型渲染清晰度与流畅度，稳定的局域网或云计算网络支撑多专业人员异地开展协同设计，确保设计过程高效顺畅。

1.3 BIM技术与轨道交通设计的适配性特征

复杂性适配针对轨道交通工程线路长、涉及专业多、接口关系复杂的特点，借助BIM技术的信息集成功能整合各专业设计数据，通过多专业协同功能厘清不同专业间的接口衔接关系，避免因信息碎片化导致的设计混乱。全周期适配使BIM模型贯穿工程全周期，设计阶段构建的模型可直接为施工阶段的进度规划、成本核算提供数据，施工完成后模型经更新完善，又能为运维阶段的设备管理、故障排查提供信息支持，实现各阶段信息无缝衔接。可视化适配解决轨道交通工程中地下隧道、高架桥梁、复杂车站等结构设计的可视化难题，通过三维模型直观呈现地下管线排布、车站与轨道衔接节点等隐蔽或复杂部位的设计方案，帮助设计人员准确判断设计合理性，降低因图纸解读偏差引发的设计误判风险。

2 BIM 技术在轨道交通工程设计中的核心应用场景

2.1 线路与站点规划设计

线路方案三维建模与比选借助地形地貌数据搭建线路三维模型，清晰呈现线路走向、坡度、曲线半径等关键参数。同时融合周边建筑、道路、生态敏感区等环境信息，全方位展示不同线路方案，开展可视化比选，精

准优化线路布局,确保线路既满足交通需求,又最大程度降低对周边环境的影响。站点选址与布局优化构建站点周边区域三维环境模型,涵盖地面建筑、地下管线、交通流量分布等要素。通过模拟站点出入口位置、换乘通道布局对周边交通的影响,精准优化站点选址,合理规划候车区、售票区、设备区等功能分区,提升站点服务效率与便捷性^[2]。周边环境影响评估将线路与站点模型和周边生态、交通、居民生活环境模型相融合,开展噪声影响模拟,明确轨道运行噪声传播范围;进行振动影响模拟,掌握隧道施工对周边建筑的振动干扰情况,为设计方案优化提供依据,实现工程建设与环境的和谐共生。

2.2 土建工程设计

车站结构三维设计构建车站主体结构参数化模型,详细明确站厅层、站台层、立柱、楼板等各构件的尺寸、材质、受力参数。通过模型开展结构受力模拟,如抗震性能分析、荷载承载能力计算,依据模拟结果优化结构设计,保障车站结构安全。区间工程(隧道/桥梁)设计针对隧道工程,构建盾构隧道管片、衬砌结构三维模型,模拟管片拼装流程与受力状态,优化管片厚度、拼接方式,提升隧道施工质量与安全性。针对桥梁工程,构建桥梁墩台、梁体参数化模型,开展抗风、抗震性能模拟,据此优化桥梁结构形式。结构碰撞检测与优化整合车站、隧道、桥梁等结构模型,全面开展各结构构件间的碰撞检测,如车站立柱与楼板、隧道管片与预埋管线等部位。提前发现设计冲突,如构件空间位置重叠问题,并及时通过模型调整优化设计方案,避免施工阶段的设计变更。

2.3 机电与系统工程设计

机电设备三维建模与布局构建供电、通风、给排水、通信信号等机电设备参数化模型,并在土建结构模型中合理开展设备布局设计,确保设备安装空间充足,便于后续检修维护,保障机电系统稳定运行。管线综合优化设计整合各专业管线模型,开展管线碰撞检测,排查不同管线交叉重叠、管线与结构构件冲突等问题。结合管线功能需求、安装与检修空间要求,优化管线排布路由与标高,减少施工阶段的管线改迁,提高施工效率。系统性能模拟与优化依托机电系统模型开展性能模拟,通过车站通风系统气流组织模拟优化风口位置与风速,利用供电系统负荷分配模拟优化变压器容量与线路截面,借助给排水系统水力计算模拟优化管道直径与水泵选型,提升系统运行效率与经济性。

2.4 多专业协同与设计管理

多专业协同设计平台搭建构建统一的BIM协同设计平

台,让土建、机电、通信信号等多专业设计人员能在同一模型环境中协同工作,实时共享设计进度、更新模型数据,有效避免专业间信息滞后与冲突,提升设计协同效率。设计变更管理利用BIM模型的参数化关联特性,当某一专业设计发生变更,如车站结构尺寸调整,系统自动提示相关专业进行模型关联更新,同步生成变更清单与影响范围分析,实现设计变更的高效管理。设计成果交付与归档以BIM模型为核心,整合各专业设计图纸、计算书、设备参数表等成果,形成数字化交付文件,方便设计成果的查阅、审核与归档。为施工单位提供包含完整信息的模型,实现设计与施工的无缝衔接。

2.5 设计与施工及运维的衔接设计

施工模拟与施工方案优化在设计阶段依托BIM模型开展施工流程模拟,如车站基坑开挖、盾构机推进、机电设备安装等。预判施工难点,如复杂地质条件下的隧道开挖风险,优化施工顺序与资源配置,为施工组织设计提供科学依据。运维信息嵌入与预留设计在设计模型中嵌入运维所需信息,如设备使用寿命、维护周期、供应商联系方式、构件检修通道尺寸等,并结合运维需求优化设计,如预留设备吊装孔、设置便于检修的管线检修口,为后续运维管理奠定基础。数字化交付模型构建符合施工与运维需求的交付模型,明确模型精度,如施工阶段需达到构件安装精度、运维阶段需达到设备管理精度;明确信息深度,如包含施工工艺要求、运维操作规范,实现设计成果向施工、运维阶段的有效传递。

3 BIM技术在轨道交通工程设计中应用的优化路径

3.1 技术体系优化

推动软件协同与集成需联合软件厂商,聚焦轨道交通工程设计的多专业特性,开发通用数据接口,打破不同专业BIM软件间的数据壁垒,实现模型信息在各软件间无缝传递,避免信息丢失或格式错乱。同时构建“建模-分析-协同-管理”一体化软件平台,将建模工具、模拟分析模块、协同办公系统、成果管理功能整合为统一整体,让设计人员无需在多个软件间频繁切换,提升技术应用的连贯性与效率^[3]。完善模型精度与信息标准要结合轨道交通工程设计的方案、初步、施工图等不同阶段需求,制定分级模型精度标准,匹配各阶段设计深度;细化信息深度标准,明确每个设计阶段需嵌入构件的材质、性能、施工工艺、运维参数等属性信息,为设计人员提供清晰的建模与信息录入指引,避免因标准模糊导致模型信息缺失或冗余。强化模拟分析技术升级需研发多性能耦合模拟工具,打破单一系统模拟的局限,实现结构、机电、环境等多系统性能协同模拟,比如将隧道

结构受力分析与通风散热模拟相结合,精准判断二者相互影响。同时收集实际工程中的施工反馈、运维数据,用于优化模拟算法,减少理论模拟与实际情况的偏差,提升模拟结果准确性,让模拟分析更有力支撑设计方案优化。

3.2 应用模式优化

构建全流程协同设计机制需依托BIM平台搭建多专业协同工作框架,明确土建、机电、通信等各专业的设计任务分工,划定模型提交的时间节点,规范成果审核流程,确保各专业设计有序推进。推行“设计-校审-优化”一体化协同模式,借助平台的模型实时共享与在线批注功能,让校审人员直接在模型上标记问题,设计人员即时查看并修改,实现设计问题快速沟通与解决。推动设计与施工/运维深度衔接要在设计团队组建阶段引入施工、运维专业人员,让其参与BIM模型构建与设计方案评审,从施工可行性、运维便捷性角度提出建议,确保模型中包含的施工工艺参数、设备安装空间、运维预留接口等信息符合后续环节需求。搭建设计-施工-运维数据共享平台,施工过程中发现的设计问题、运维中积累的设备损耗数据可反向传递至设计端,形成全周期设计优化闭环。加强设计人员能力培养需构建“理论+实操+案例”的BIM技能培训体系,针对建模人员侧重软件操作、模型搭建等基础技能培训;针对设计负责人强化模拟分析、方案优化、多专业协调等核心能力培养;针对协同管理者开展平台运维、流程管控等相关培训。定期组织BIM技术交流活 动,分享行业应用经验,鼓励设计人员参与实际项目实践,在实战中提升技术应用的熟练度与深度。

3.3 管理与保障体系优化

健全行业与企业标准体系需由行业协会牵头,联合设计单位、科研机构、施工企业制定统一的轨道交通工

程设计BIM标准,涵盖建模流程、信息分类编码、成果交付要求、协同管理规范等。各设计单位结合自身业务与项目特点,制定企业级实施细则,编制标准化模型模板、构件库、协同工作手册,确保行业标准落地。优化成本投入与收益平衡可采用“分步投入、逐步推广”策略,优先在复杂车站、长距离隧道等重点项目,及管线综合、碰撞检测等关键设计环节应用BIM技术,积累经验后扩大范围,降低初期风险。同时探索收益量化方法,对比应用前后设计变更率、施工返工成本、运维费用,呈现技术提升效率、节约成本的价值。强化数据安全需搭建高安全性BIM协同平台,采用云端加密存储与本地备份双重保障;设置分级访问权限,设计人员仅改本专业模型,管理员全权限管控;建立操作日志追溯机制,记录修改人、内容、时间,便于溯源。制定数据安全应急预案,明确泄露、故障等处置流程,防范风险。

结束语

BIM技术在轨道交通工程设计中的应用已取得一定成果,在提升设计效率、保障设计质量、促进多专业协同等方面优势显著。不过,在技术体系、应用模式、管理与保障体系等方面仍有优化空间。未来,随着技术不断升级、标准逐步完善、人员能力提升,BIM技术将在轨道交通工程设计领域发挥更大作用,推动行业向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1]黄继成,王保,韩贵红.BIM技术在轨道交通车站管线综合设计中的应用[J].隧道与轨道交通,2023(4):55-58+71.
- [2]郭云飞.BIM技术在轨道交通工程中的应用探讨[J].工程建设与设计,2021(10):94-97.
- [3]赵津.BIM技术在轨道交通工程施工管理中的应用[J].住宅与房地产,2021(12):149-150.